



# Modélisation de la Propagation Electromagnétique dans un Environnement de type Bureau à 2.4 GHz

Zaher Sayegh, Mohamed Latrach, Fumie Costen, Wafa Abdouni, Ghaïs El Zein, Gheorghe Zaharia

## ► To cite this version:

Zaher Sayegh, Mohamed Latrach, Fumie Costen, Wafa Abdouni, Ghaïs El Zein, et al.. Modélisation de la Propagation Electromagnétique dans un Environnement de type Bureau à 2.4 GHz. JNM 2013, May 2013, Paris, France. pp.1-4. hal-00826388

**HAL Id: hal-00826388**

**<https://hal.science/hal-00826388>**

Submitted on 27 May 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Modélisation de la Propagation Electromagnétique dans un Environnement de Type Bureau à 2.4 GHz

Zaher Sayegh<sup>1,3</sup>, Mohamed Latrach<sup>1</sup>, Fumie Costen<sup>2</sup>, Ghais El Zein<sup>3</sup>, Gheorghe Zaharia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ESEO, Groupe Radio et Hyperfréquences, 10 Bd Jeanneteau – CS 0717, 49107 Angers Cedex 2, France

<sup>2</sup>School of Electric and Electrical Engineering, University of Manchester, U.K.

<sup>3</sup>IETR – INSA de Rennes, 20 Avenue des Buttes de Coësmes, CS 70839 F - 35708 Rennes Cedex 7, France

[Zaher.Sayegh@eseo.fr](mailto:Zaher.Sayegh@eseo.fr)

### Résumé

*L'usage de plus en plus répandu des systèmes de communication sans fils dans des milieux confinés (ou milieux « indoor »), rend nécessaire la prédiction d'une couverture électromagnétique efficace et précise en présence d'obstacles, permettant aux ingénieurs de planifier efficacement les dispositifs communicants.*

*Cet article présente une modélisation rigoureuse de la propagation des ondes électromagnétiques à l'intérieur des bâtiments. Elle est basée sur la méthode FDTD en tenant compte de la complexité environnementale et des caractéristiques des matériaux caractérisant l'environnement considéré. Les résultats numériques obtenus montrent un bon accord avec les études expérimentales menées à 2.4 GHz dans le même environnement.*

### 1. Introduction

La modélisation de la propagation sans fil est un moyen nécessaire pour optimiser le déploiement et le fonctionnement des systèmes communicants. Une telle modélisation est d'autant plus nécessaire que le déploiement se fait de plus en plus dans des environnements complexes (comme les bureaux, les salles de cours, etc.). En effet, la présence de divers obstacles (statiques et mobiles) influence les conditions de propagation par leurs propriétés géométriques et électromagnétiques.

Un code basé sur la méthode FDTD (3D) et développé en FORTRAN, par l'équipe du professeur Fumie COSTEN de l'université de Manchester, a été modifié et adapté à notre contexte d'étude détaillé ci-après. Il permet l'obtention des résultats précis, en accord avec les mesures. L'article présente et analyse les différents résultats obtenus.

### 2. Contexte de l'étude

On cherche dans cette étude à prédire le rayonnement d'une antenne monopôle omnidirectionnelle ( $\lambda/4$ ), fonctionnant à 2.4 GHz, dans un bureau universitaire de dimensions: 4.25 m x 3.37 m x 3 m (Figure 1) contenant quatre murs en briques, quatre fenêtres en

verre, une porte en bois partiellement vitrée, deux bureaux métalliques, deux armoires métalliques, un radiateur fixe métallique, deux ordinateurs et deux écrans d'ordinateurs.

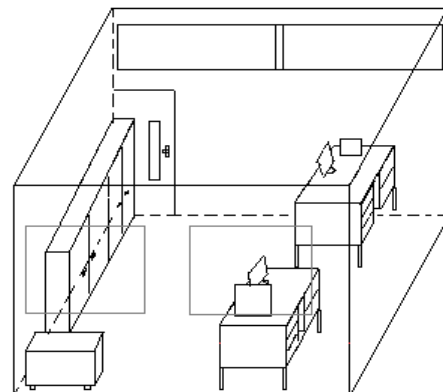


Figure 1. Structure du bureau

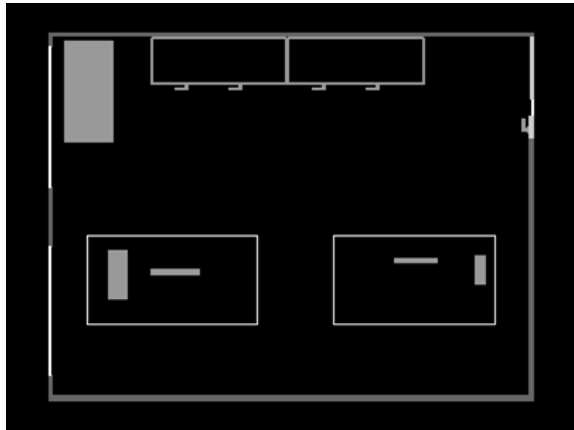
Plusieurs modèles ont déjà été mis au point et proposés pour la prédiction de la propagation des ondes électromagnétiques (le tracé de rayons, la méthode du chemin dominant, COST 231 ...). En plus, l'utilisation de ces modèles exige des machines de calcul très puissantes. Ce qui nous a amené à modifier et adapter un code basé sur la méthode des différences finies dans le domaine temporel [1]-[3], afin de bien caractériser les phénomènes pouvant influencer la propagation à l'intérieur des bâtiments.

La version actuelle du code, modifiée et adaptée, permet d'obtenir les champs électromagnétiques dans le domaine temporel pour chaque position de l'antenne de réception dans l'environnement considéré, ce qui nous permet de calculer la puissance correspondante moyennant le calcul du vecteur de Poynting [4].

### 3. Modélisation avec le code FDTD

L'environnement étudié a été défini dans le nouveau code FDTD, comme le montre la Figure 2. Ce code est capable de prendre en compte tous les phénomènes physiques influençant la propagation des ondes électromagnétiques comme la réflexion, la diffraction, la

diffusion et la transmission du signal. La fréquence, la polarisation, la position et le nombre d'antennes ont été inclus dans le calcul.

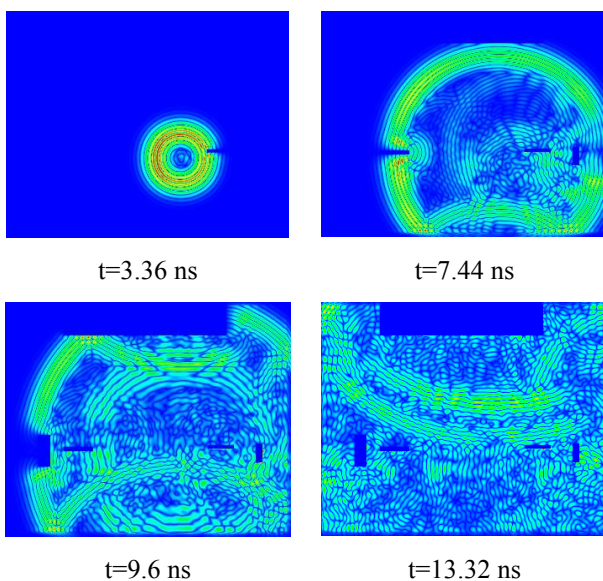


**Figure 2. Définition de la géométrie du bureau avec le code FDTD**

D'abord, on définit la géométrie du bureau (dimensions des murs, sol, plafond) et la nature de leurs matériaux qui sont définis par leur conductivité et leur permittivité. On peut rajouter d'autres géométries et matériaux en cas de présence des obstacles dans l'environnement (bureaux, armoires, chauffage, ordinateurs ...).

Ces dimensions sont définies en fonction du pas spatial le mieux adapté pour obtenir une bonne résolution. En effet, si le pas spatial est choisi petit, on aura un bon échantillonnage de l'espace et du temps, et les erreurs introduites par les dispersions numériques seront réduites. Le choix du pas spatial est un compromis entre la précision et l'espace de stockage en mémoire ainsi que le temps de calcul. Pour cette étude, le pas spatial utilisé est égal à  $\lambda/10$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde.

Dans cette étude, on a utilisé une source ponctuelle omnidirectionnelle placée à 85 cm au-dessus du niveau du sol et émettant sur la fréquence de 2.4 GHz.



**Figure 3. Propagation des ondes électromagnétiques dans le domaine temporel**

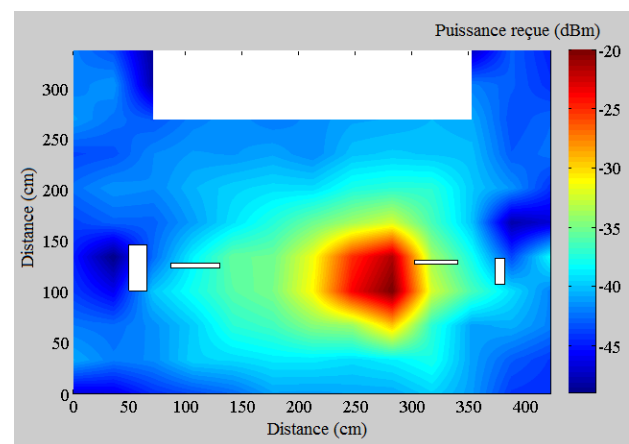
Le code a une capacité de produire le champ électrique, ainsi que le champ magnétique dans le domaine temporel pour chaque point de l'environnement, comme le montre la Figure 3, le calcul est effectué pour 2000 pas temporel, dont ce pas est égal à 24 ps, ce qui est suffisant pour avoir une couverture complète de l'environnement et plusieurs réflexions.

On peut définir et préciser les points d'analyse où on a besoin d'obtenir les valeurs de champs électromagnétiques. Les données obtenues sont générées sous format de fichiers text. Dans notre étude les points pris ont les mêmes positions que les 143 points de mesures utilisés.

Le code produit les champs électromagnétiques dans le domaine temporel, d'où le besoin d'utiliser la transformée de Fourier pour obtenir les champs électromagnétiques dans le domaine fréquentiel et d'extraire les valeurs des champs électriques et magnétiques [5], afin de calculer le module du vecteur de Poynting  $|P| = |E \times H|$  [4].

$$|P| = ([E_y H_z - (E_z H_y)]^2 + [E_z H_x - (E_x H_z)]^2 + [E_x H_y - (E_y H_x)]^2)^{1/2} \quad (W/m^2) \quad (1)$$

Dans notre étude, on a besoin de comparer les valeurs de la puissance reçue obtenues par mesure et celles obtenues par simulation, pour 143 positions de l'antenne de réception. La répartition de la puissance des ondes électromagnétiques calculée en présence des obstacles, dont la puissance d'émission est de 0 dBm, est présentée à la Figure 4.



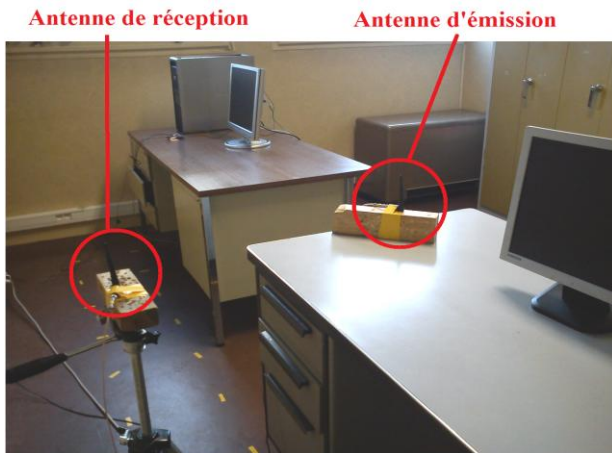
**Figure 4. Répartition de la puissance reçue (dBm) obtenue par modélisation**

Les zones en blanc représentent les ordinateurs, les écrans des ordinateurs et les armoires. Les zones en bleu montrent l'influence des obstacles (ordinateurs, chauffage et armoires) sur le rayonnement de l'antenne obtenu par simulation avec le code FDTD.

#### 4. Mesures

On a choisit pour cette étude un bureau universitaire qui mesure  $34\lambda \times 27\lambda \times 24\lambda$ . Dans ce bureau, on a utilisé deux antennes monopôles omnidirectionnelles ( $\lambda/4$ ) qui fonctionnent à 2.4 GHz. L'antenne d'émission est placée

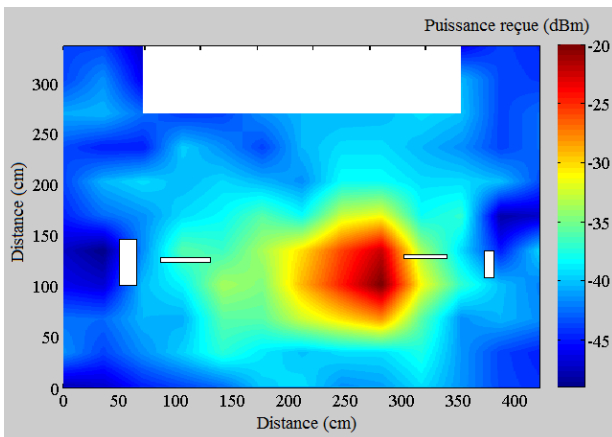
10 cm au dessus de la table, comme le montre la Figure 5, dont la puissance à l'émission est de 0 dBm fournie par un générateur de signal qui fonctionne de 10 MHz à 20 GHz. La puissance reçue est mesurée avec un analyseur de spectre (9 kHz - 3 GHz).



**Figure 5. Mesure de la puissance rayonnée dans un bureau universitaire**

Les mesures sont réalisées en 143 positions séparées de  $2.5 \lambda$  pour la même hauteur de l'antenne d'émission.

La répartition de la puissance rayonnée mesurée est présentée dans la Figure 6. La valeur de la puissance représente la moyenne de 8 valeurs de puissance calculées pour 8 points placés autour de chaque position de mesure sur un cercle de rayon  $\lambda/2$ , afin de diminuer l'influence des fluctuations à petite échelle dues à la propagation par trajets multiples.

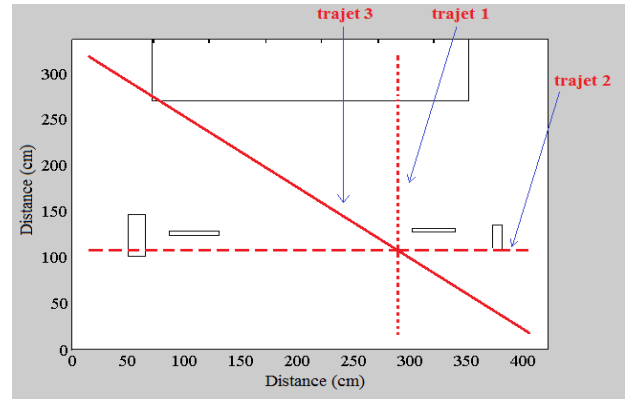


**Figure 6. Répartition de la puissance reçue (dBm) obtenue par mesures**

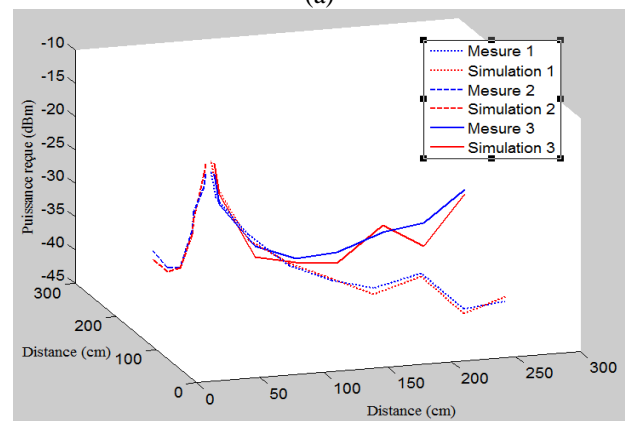
## 5. Comparaison des résultats de mesures et de modélisation de la puissance rayonnée

La différence entre la puissance rayonnée obtenue par mesure et celle obtenue par modélisation est calculée pour trois trajets, comme le montre la Figure 7.

Les trajets: « trajet1 », « trajet2 » et « trajet3 » correspondent respectivement aux « mesure1 – simulation1 », « mesure2 – simulation2 » et « mesure3 – simulation3 ».



(a)

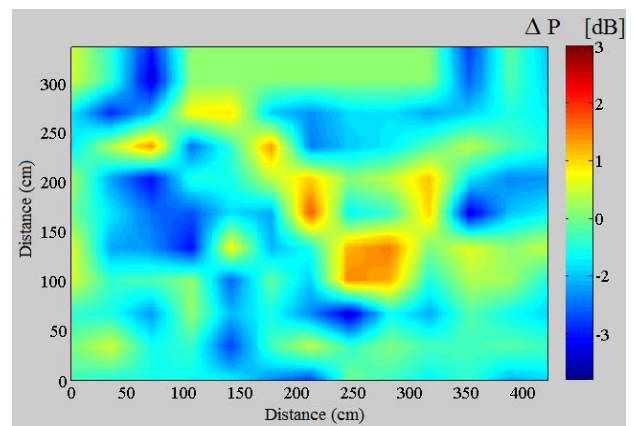


(b)

**Figure 7. (a) Trajets utilisés, (b) Comparaison entre mesures et simulations pour trois trajets donnés**

Les courbes en bleu représentent les valeurs de la puissance moyenne reçue obtenue par les mesures, les courbes en rouge représentent les valeurs de la puissance moyenne reçue obtenues par simulations. Leur comparaison montre un bon accord, ce qui nous a menés à comparer tous les 143 points (Figure 8).

Pour être plus précis, on peut voir des différences mineures de -3 à 2.5 dB, la plus grande différence positive peut être observée pour le trajet entre l'antenne d'émission et le chauffage. Ces différences peuvent être dues à la présence des instruments de mesures et du corps humain à l'intérieur du bureau et à la précision des caractéristiques des matériaux définies en modélisation.

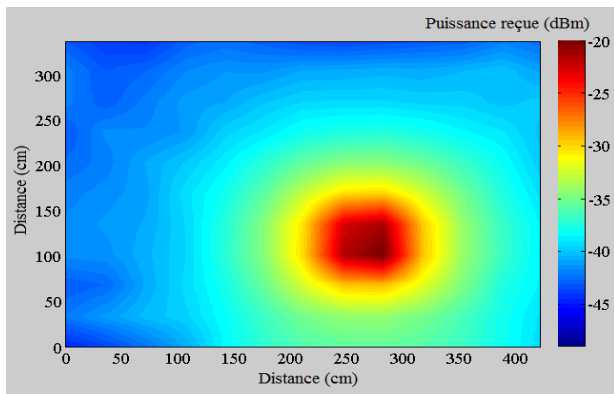


**Figure 8. Comparaison entre mesures et simulations pour 143 points donnés**

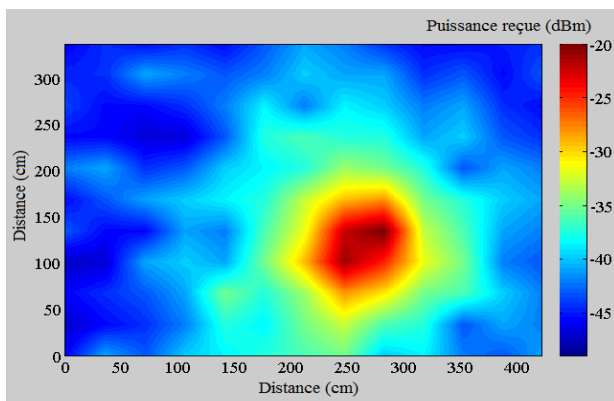


Une autre comparaison a été effectuée dans le cas où le bureau était sans mobilier (sauf le chauffage qui est fixe), en gardant la même hauteur des antennes d'émission et de réception qui sont placées sur des supports en plastique.

La répartition de la puissance reçue (dBm) obtenue par modélisation du bureau vide et par mesures est présentée aux figures 9 et 10 respectivement.

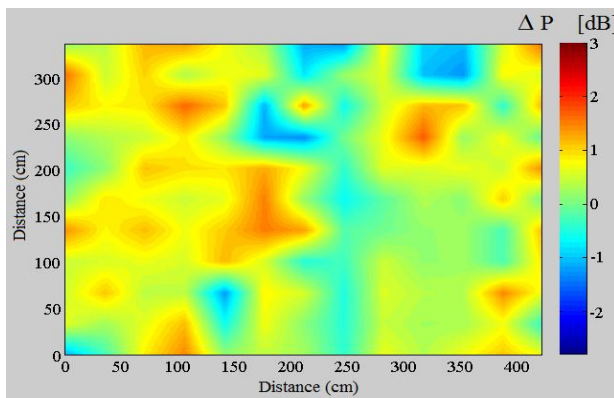


**Figure 9. Répartition de la puissance reçue (dBm) obtenue par modélisation (sans obstacles)**



**Figure 10. Répartition de la puissance reçue (dBm) obtenue par mesures (sans obstacles)**

La différence entre la puissance rayonnée obtenue par mesure et celle obtenue par modélisation sans mobilier varie entre -1.45 et 1.7 dB (Figure 11). En comparant cette différence avec celle obtenue en présence du mobilier, on peut conclure que la modélisation des matériaux environnants n'est pas précise.



**Figure 11. Comparaison mesures et simulations pour 143 points donnés (sans obstacles)**

## 6. Performances du code FDTD

L'ordinateur utilisé pour cette modélisation dispose de huit processeurs et 32 Go de mémoire vive (RAM). La description du bureau étudié a besoin de 2.25 Go de mémoire et de 20 Mo d'espace de stockage (143 fichiers 'txt').

La version actuelle du code permet d'exploiter tous les processeurs de l'ordinateur pour faire le calcul, ce qui nous a permis de réduire le temps de calcul à 37 minutes en utilisant les huit processeurs.

Les résultats de cette étude montrent une grande capacité du code FDTD à modéliser la propagation électromagnétique dans des environnements complexes.

## 7. Conclusion

Une modélisation rigoureuse de la propagation électromagnétique en milieu indoor basée sur la méthode FDTD (3D) est développée et présentée dans cet article. Le code prend en compte la présence des divers obstacles, afin de fournir des résultats avec une bonne précision.

Les résultats numériques obtenus dans un environnement de type bureau à 2.4 GHz sont comparés avec ceux obtenus par des mesures et montrent un bon accord. L'efficacité et les performances de ce code montrent une grande capacité à modéliser la propagation électromagnétique.

Pour avoir plus de précision, les caractéristiques de l'antenne et la présence des corps humains devraient être également intégrées dans ce code.

## 8. Bibliographie

- [1] A. Taflove, C. Susan, «*The finite-difference time-domain method*», Computational Electrodynamics, Artech House, Norwood, 2005.
- [2] A. Taflove, S. Hagness, «*The Finite-Difference Time-Domain Method for Electromagnetic Scattering and Interaction Problems*», IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol. EMC-22, pp. 191-202, Aug. 1980.
- [3] X Zang, J Fang and K Mei, «*Calculations of the discontinuities using the FDTD method*», IEEE MTT, vol. 26, pp. 263-267, Feb. 1988.
- [4] P. Neeakanta, T. Kishkan, R. Chatterjee, «*Antennas for Information Super Skyways: An Exposition on Outdoor and Indoor Wireless Antennas*», Research Studies Press Ltd, pp. 223, 1st edition (December 1, 2002).
- [5] Z. Sayegh, M. Latrach, F. Costen, W. Abdouni, G. El Zein, G. Zaharia, «*Antenna Radiation in Typical Office Environment: Theoretical Modeling and Measurements*», Computer Modeling and Simulation (EMS), 2012 Sixth UKSim/AMSS European Symposium on Mathematical Modelling and Computer Simulation, 14-16 Nov. 2012, pp. 433-438.